

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

21 57 8666  
Offenlegungsschrift  
DE 40 29 271 A 1

31  
Int. Cl. 5:  
H 02 K 1/06  
H 02 K 1/02  
H 02 K 29/00

21 Aktenzeichen: P 40 29 271.1  
22 Anmeldetag: 14. 9. 90  
43 Offenlegungstag: 19. 3. 92

DE 40 29 271 A 1

71 Anmelder:

Magnet-Motor Gesellschaft für magnetomotorische  
Technik mbH, 8130 Starnberg, DE

24 Vertreter:

Klunker, H., Dipl.-Ing. Dr.rer.nat.; Schmitt-Nilson, G.,  
Dipl.-Ing. Dr.-Ing.; Hirsch, P., Dipl.-Ing.,  
Pat.-Anwälte, 8000 München

72 Erfinder:

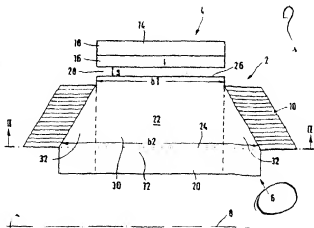
Heidelberg, Götz, Dipl.-Phys., 8136 Percha, DE;  
Gründl, Andreas, Dr.; Ehrhart, Peter, Dr., 8000  
München, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE 33 31 754 A1  
DE-OS 18 14 977  
DE-OS 16 13 005  
EP 01 71 571 A1

54 Elektrische Maschine

- 57 Elektrische Maschine, aufweisend einen mit Leiterwicklungen (10) versehenen Induktionsteil (12) und einen Erregerteil (14), wobei sich zwischen dem Induktionsteil (12) und dem Erregerteil (14) ein Luftspalt (28) befindet, der Induktionsteil (12) und der Erregerteil (14) relativ zueinander bewegbar sind, und der Induktionsteil (12) wicklungsbesetzte Nuten (24) zwischen benachbarten, in Richtung auf den Luftspalt (28) vorstehenden Zähnen (22) aufweist, gekennzeichnet durch Zähne (22) des Induktionsteils (12), deren Breite (b) gemessen parallel zu einer entlang des Luftspalts (28) gelegten Fläche sowie rechtwinklig zu der Relativbewegungsrichtung (34) von Induktionsteil (12) und Erregerteil (14) am betreffenden Zahnfuß (30) größer ist als am betreffenden luftspaltbenachbarten Zahnkopf (26).



DE 40 29 271 A 1

Die Erfindung bezieht sich auf eine elektrische Maschine, aufweisend einen mit Leiterwicklungen versehenen Induktionsteil und einen Erregerteil, wobei sich zwischen dem Induktionsteil und dem Erregerteil ein Luftspalt befindet, der Induktionsteil und der Erregerteil relativ zueinander bewegbar sind und der Induktionsteil wicklungsbesetzte Nuten zwischen benachbarten, in Richtung auf den Luftspalt vorstehenden Zähnen aufweist.

Bei herkömmlichen elektrischen Maschinen ist der Querschnitt der Induktionsteil-Zähne — geschnitten parallel zu einer entlang des Luftspalts gelegten Fläche — über die Höhe des Zahns, also fortschreitend vom luftspaltbenachbarten Zahnkopf zum Zahnfuß, mindestens im wesentlichen konstant. Diese herkömmliche Auslegung ist hinsichtlich der Magnetflußbedingungen in den Induktionsteil-Zähnen nicht optimal. Wenn man vom Zahnkopf zum Zahnfuß eines Zahns fortschreitet, sind nämlich zunehmend mehr Windungen der Wicklungen in den Nuten an der Erzeugung von magnetischem Streußfluß von Zahn zu Zahn über die dazwischenliegende Nut hinweg beteiligt, so daß die Magnetflußdichte am Zahnfuß erheblich größer als am Zahnkopf ist. Infolgedessen ist der Zahnkopf magnetisch unterausgenutzt, während der Zahnfuß die Grenze der magnetischen Auslastung setzt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine elektrische Maschine der eingangs genannten Art mit besserer Magnetflußdichtenausnutzung der Induktionsteil-Zähne zu schaffen.

Zur Lösung dieser Aufgabe ist die elektrische Maschine erfindungsgemäß gekennzeichnet durch Zähne des Induktionsteils, deren Breite — gemessen parallel zu einer entlang des Luftspalts gelegten Fläche sowie rechtwinklig zu der Relativbewegungsrichtung von Induktionsteil und Erregerteil — am betreffenden Zahnfuß größer als am betreffenden, luftspaltbenachbarten Zahnkopf ist. Erfindungsgemäß bietet also der betreffende Zahn einen in Richtung vom Zahnkopf zum Zahnfuß zunehmenden Querschnitt, wodurch die Magnetflußdichte, wenn man in dieser Richtung fortschreitet, sich weniger stark ändert, als beim Stand der Technik. Vorzugsweise nimmt die genannte Zahnbreite in Richtung vom Zahnkopf zum Zahnfuß allmählich derart zu, daß die magnetische Flußdichte längs des betreffenden Zahns im wesentlichen konstant ist.

Es wird darauf hingewiesen, daß nicht zwingend sämtliche Induktionsteil-Zähne der Maschine so ausgebildet sein müssen, wie vorstehend beschrieben. Abhängig von der konstruktiven Auslegung der Maschine kann es ausreichend sein, wenn nur ein Teil der Zähne derart ausgebildet ist. Außerdem wird auf den Fall hingewiesen, daß ein Teil der Zähne nicht mit Wicklungen versehen ist; insbesondere bei derartigen Zähnen kann man die erfindungsgemäße Verbreiterung unterlassen.

Die erfindungsgemäße elektrische Maschine kann ein Elektromotor oder ein Generator zum Erzeugen von Strom sein. Es kann sich um eine lineare oder eine rotatorische Maschine handeln. Innerhalb der Klasse der rotatorischen Maschinen kann es sich um eine mit zylindrischem Luftspalt oder um eine mit ebenem, sich rechtwinklig zur Rotationsachse erstreckenden Luftspalt (Scheibenaußenbauart) handeln.

Nach einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß die im Vergleich zu dem betreffenden Zahnkopf vorgesehenen Zahnverbreiterungsber-

che an ihren freien Enden — in der Relativbewegungsrichtung gemessen — kleinere Abmessungen haben als an ihren Übergangsenden. Auf diese Weise verbreitern sich — in der Relativbewegungsrichtung gemessen — die Nuten dort wo die Zahnverbreiterungsbereiche sind. Infolgedessen werden die magnetischen Streußflüsse direkt von Zahnverbreiterungsbereich zu nächstem Zahnverbreiterungsbereich reduziert.

Vorzugsweise haben die Magnetrückflußbereiche zwischen den Zähnen — gemessen in der Richtung wie die genannte Zahnbreite — im wesentlichen die gleiche Breite wie die benachbarten Zahnfüße. Auf diese Weise kann dem Magnetfluß von einem Zahnfuß durch den dortigen Magnetrückflußbereich zu einem benachbarten Zahnfuß ein im wesentlichen gleichbleibender Magnetflußquerschnitt geboten werden und vermieden werden, daß die Magnetflußdichte in den Rückschlußbereichen größer ist als in den Zahnfüßen. Es gibt jedoch weitere geometrische Möglichkeiten, den wünschenswerten, im wesentlichen gleichbleibenden Magnetflußquerschnitt auch im Magnetrückfluß zu bewerkstelligen, insbesondere Verdickung der Magnetrückflußbereiche gemessen rechtwinklig zu der entlang des Luftspalts gelegten Fläche.

Es ist in Weiterbildung der Erfindung bevorzugt, daß bei dem Induktionsteil mindestens die im Vergleich zu dem betreffenden Zahnkopf vorgesehenen Zahnverbreiterungsbereiche aus einem isotropen, ferromagnetischen Material mit hohem elektrischen Widerstand bestehen. In den Zahnverbreiterungsbereichen ist der Magnetfluß nicht exakt in Richtung vom Zahnkopf zum Zahnfuß ausgerichtet, so daß in den Zahnverbreiterungsbereichen der für die Vermeidung von Wirbelstromverlusten übliche Aufbau aus geschichteten, voneinander isolierten Blechen keine perfekten Ergebnisse erbringt. Hier schafft diese Weiterbildungsmaßnahme Abhilfe. Es ist möglich und bevorzugt, weitere magnetflußführende Bestandteile des Induktionsteils aus einem isotropen, ferromagnetischen Material zu fertigen, insbesondere die Zahnfußbereiche und/oder die Zähne insgesamt und/oder die Magnetrückflußbereiche. Überhaupt kann man den gesamten magnetflußführenden Bestandteil des Induktionsteils aus einem derartigen Material fertigen. Als bevorzugtes Beispiel des Materials sei ein kunststoffgebundenes Metallpulvermaterial genannt. Hieraus bestehende Teile lassen sich besonders rationell fertigen und gut bearbeiten.

Die Erfindung läßt sich bei allen Typen von elektrischen Maschinen einsetzen, die ein mit Leiterwicklungen versehenes Induktionsteil mit in Richtung auf den Luftspalt vorstehenden Zähnen aufweisen. Besonders bevorzugt sind jedoch elektrische Maschinen, die ein mit Dauermagneten aufgebautes Erregerteil aufweisen. Die Dauermagnete bestehen vorzugsweise aus einem Material auf der Basis von Seltenerden-Kobalt oder auf der Basis Seltenerden-Neodym, besonders bevorzugt Samarium-Kobalt oder Eisen-Neodym.

Vorzugsweise ist die Maschine ein elektronisch kommutierter Elektromotor.

Während die meisten herkömmlichen elektrischen Maschinen Leiterwicklungen haben, die für mehrere Zähne unmittelbar zusammenhängen, typischerweise unter Bildung von Wickelköpfen mit ein und demselben Stromleiter nacheinander gewickelt sind, ist es in Weiterbildung der Erfindung bevorzugt, die Maschine nach dem Einzelspulenprinzip aufzubauen. Hierbei wird jeder betreffende Induktionsteil-Zahn mit einer einzelnen Spule versehen und werden die beiden Enden des

Stromleiters der betreffenden Spule stromzuführend und stromableitend angeschlossen. Dabei kann man so vorgehen, daß man jede Spule einzeln anschließt oder daß man sämtliche Spulen miteinander verbindet und gemeinsam anschließt oder daß man Gruppen bzw. Teilanzahlen von Spulen miteinander verbindet und diese Gruppen anschließt. "Anschließen" bedeutet im Fall einer elektronisch kommutierten Maschine das Verbinden mit dem Leistungsteil der elektronischen Kommutierung. Es wird darauf hingewiesen, daß es Ausführungsformen gibt, bei denen nicht jeder Zahn mit einer Spule versehen ist, sondern insbesondere nur jeder zweite Zahn.

Vorzugsweise ist die Maschine nach dem Flußkonzentrationsprinzip aufgebaut. Ein typisches, bevorzugtes Beispiel für den Aufbau nach dem Flußkonzentrationsprinzip besteht darin, daß die Dauermagnete — im Schnitt rechtwinklig zur Rotationsachse betrachtet — im wesentlichen dreieckförmig und in Umfangsrichtung magnetisiert sind, daß in Umfangsrichtung abwechselnd mit den Dauermagneten Bereiche aus magnetisch leitendem Material vorhanden sind, und daß die dem Luftspalt zugewandten Magnetflußaustrittsflächen dieser Bereiche aus magnetisch leitendem Material jeweils kleiner sind als die Summe der Magnetflußquerschnitte der beiden angrenzenden Dauermagnete.

Die Erfindung und Ausgestaltung der Erfindung werden nachfolgend anhand eines schematisiert zeichnerisch dargestellten Ausführungsbeispiels noch näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 einen rotatorischen Elektromotor im Längsschnitt durch seine Rotationsachse, wobei nur die obere Hälfte des Motors gezeichnet ist;

Fig. 2 einen Schnitt längs II-II in Fig. 1, der von einer zylindrischen Schnittfläche in eine Ebene abgewickelt ist.

Der in Fig. 1 schematisiert dargestellte Elektromotor 2 ist ein sogenannter Außenrotor-Motor, bei dem ein im wesentlichen hohlzylindrischer Rotor 4 einen Stator 6 mit im wesentlichen zylindrischem Außenumfang umgibt. In der Regel ist der Rotor 4 im wesentlichen becherförmig gestaltet, so daß er axial neben dem Stator 6 gelagert sein kann. Der Rotor 4 kann um eine Rotationsachse 8 relativ zu dem Stator 6 rotieren, wie in Fig. 1 schematisch angedeutet.

Von dem Stator 6 sind in Fig. 1 die für die Funktion des Motors 2 wesentlichen Teile dargestellt, nämlich ein mit Leiterwicklungen 10 versehenes Induktionsteil 12. Der für die Funktion des Motors 2 wesentliche Bestandteil des Rotors 4 ist ein gezeichnetes Erregerteil 14, das im wesentlichen aus einer umfangsmäßig angeordneten Reihe von Dauermagneten 16 und radial außerhalb davon einem Rückschlußring 18 besteht. Die Dauermagnete 16 sind in Radialrichtung magnetisiert, und zwar — wenn man in Umfangsrichtung fortschreitet — abwechselnd Südpol innen und Nordpol innen.

Von dem Stator 6 ist der unschraffierte Bereich 12 der magnetflußführende Bestandteil des Induktionsteils. Der magnetflußführende Bestandteil 12 besteht integral im wesentlichen aus einem insgesamt ringförmigen Magnetrückschlußbereich 20 und Zähnen 22, die von dem Magnetrückschlußbereich 20 nach außen ragen. Die Grenze zwischen beiden Bereichen ist durch die gepunktete Linie 24 angedeutet. Wenn man in Umfangsrichtung fortschreitet, befindet sich jeweils zwischen zwei benachbarten Zähnen 22 eine sich axial erstreckende Nut 24 (Fig. 2).

Für jeden Zahn 22 ist eine Einzelspule 10 vorgesehen.

Der Stromleiter, aus dem die Einzelspule 10 gewickelt ist, verläuft in den beiden beteiligten Nuten 25 im wesentlichen axial und führt um die beiden Axialenden des betreffenden Zahns 22 herum. Die Einzelspulen 10 sind einzeln oder gruppenweise oder alle gemeinsam an einen Stromausgang eines nicht gezeigten Leistungsteils einer Steuerung zur elektronischen Kommutierung des Motors 2 angeschlossen.

Zwischen dem in Fig. 1 oben befindlichen Zahnkopf 16 des gezeichneten Zahns 22 und der in Fig. 1 nach unten weisenden Polfläche des gezeichneten Dauermagneten 16 befindet sich ein zylindrischer Luftspalt 28 mit einer radialen Dicke  $s$ . Der Zahnkopf 26 hat in Axialrichtung gemessen, also in Fig. 1 von links nach rechts, eine Breite  $b_1$ . Der an den Magnetrückschlußbereich 20 angrenzende Zahnfuß 30 des gezeichneten Zahns 22 hat in Axialrichtung gemessen eine Breite  $b_2$ . Man erkennt, daß die Breite  $b_2$  größer ist als die Breite  $b_1$ . Konkret ist die Ausbildung so, daß ein Stück unterhalb der luftspaltzugewandten Polfläche des Zahns 22 (nämlich wo die Spule 10 beginnt) beidseitig eine linear zunehmende Verbreiterung des Zahns 22 einsetzt. Im Vergleich zum Zahnkopf 26 entstehen hierdurch Zahnverbreiterungsbereiche 32, die im Schnitt der Fig. 1 dreieckig sind. Somit ist für den in Fig. 1 im wesentlichen vertikal verlaufenden Magnetfluß in dem Zahn 22 ein Magnetflußquerschnitt gebildet, der in Richtung vom Zahnkopf 26 zum Zahnfuß 30 zunimmt. Der Magnetrückschlußbereich 20 hat ebenfalls die Breite  $b_2$ .

In Fig. 2 erkennt man, daß die Zahnverbreiterungsbereiche 32 — gemessen in der Relativbewegungsrichtung 34 von Rotor 4 und Stator 6 — an ihren in den beiden Axialrichtungen am weitesten vorragenden, freien Enden 36 kleinere Abmessungen haben als an ihren Übergangsenden 38, wo sie in den restlichen Zähnen 22 (= Zahn 22, wenn keine Zahnverbreiterungsbereiche 32 vorhanden wären) übergehen. Konkret sind die Zahnverbreiterungsbereiche 32 in der radialen Blickrichtung der Fig. 2 beispielsweise dreieckig (Fig. 2a) oder halbkreisförmig (Fig. 2b). Magnetische Streuflüsse, die mit dem Bezugszeichen 40 angedeutet sind und die das Bestreben haben, von einem Zahnverbreiterungsbereich 32 zu einem in Umfangsrichtung benachbarten Zahnverbreiterungsbereich unter Umgehung des Magnetrückschlußbereichs 20 zu fließen, finden infolgedessen dort einen längeren Weg durch Luft vor, so daß der Ausbildung derartiger magnetischer Streuflüsse entgegengewirkt ist.

Vorzugsweise bestehen mindestens die Zahnverbreiterungsbereiche 32 des Induktionsteils 12 aus isotropem, ferromagnetischem Material, weil man hiermit gerade in den Zahnverbreiterungsbereichen 32 die weitestmögliche Vermeidung von Wirbelströmen am besten im Griff hat. Es ist jedoch möglich, auch die Zähne 22 und/oder den Magnetrückschlußbereich 20 aus derartigem Material zu fertigen.

Eine bevorzugte Variante des Erregerteils 14 besteht darin, daß man — gesehen in einer Schnittebene rechtwinklig zur Rotationsachse 8 — im wesentlichen dreieckige, mit der Spitze nach radial innen weisenden, in Umfangsrichtung magnetisierte Dauermagnete 16 vorsieht, wobei sich zwischen in Umfangsrichtung benachbarten Dauermagneten 16 magnetisch leitende Bereiche befinden. Entsprechend dem Flußkonzentrationsprinzip kann man die Auslegung so machen, daß die magnetisch leitenden Bereiche eine radial nach innen weisende Magnetaustrittsfläche haben, die kleiner ist als die Summe der beiden, radial gemessenen Magnetfluß-

querschnitte der beiden in Umfangsrichtung benachbarten Dauermagnete 16.

# Patentsprüche

1. Elektrische Maschine, aufweisend einen mit Leiterwicklungen (10) versehenen Induktionsteil (12) und einen Erregerteil (14), wobei sich zwischen dem Induktionsteil (12) und dem Erregerteil (14) ein Luftspalt (28) befindet, der Induktionsteil (12) und der Erregerteil (14) relativ zueinander bewegbar sind, und der Induktionsteil (12) wicklungsbesetzte Nuten (24) zwischen benachbarten, in Richtung auf den Luftspalt (28) vorstehenden Zähnen (22) aufweist, gekennzeichnet durch Zähne (22) des Induktionsteils (12), deren Breite (b) — gemessen parallel zu einer entlang des Luftspalts (28) gelegten Fläche sowie rechtwinklig zu der Relativbewegungsrichtung (34) von Induktionsteil (12) und Erregerteil (14) — am betreffenden Zahnfuß (30) größer ist als am betreffenden luftspaltbenachbarten Zahnkopf (26).
2. Elektrische Maschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die genannte Zahnbreite (b) in Richtung vom Zahnkopf (26) zum Zahnfuß (30) allmählich derart zunimmt, daß die magnetische Flußdichte längs des betreffenden Zahns (22) im wesentlichen konstant ist.
3. Elektrische Maschine nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die im Vergleich zu dem betreffenden Zahnkopf (26) vorgesehenen Zahnverbreiterungsbereiche (32) an ihren freien Enden (36) — in der Relativbewegungsrichtung (34) gemessen — kleinere Abmessungen (a) haben als an ihren Übergangsenden (38).
4. Elektrische Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Magnetrückschlußbereiche (20) zwischen den Zähnen (22) — gemessen in der Richtung wie die genannte Zahnbreite (b) — im wesentlichen die gleiche Breite wie die benachbarten Zahnfüße (30) haben.
5. Elektrische Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß bei dem Induktionsteil (12) mindestens die im Vergleich zu dem betreffenden Zahnkopf (26) vorgesehenen Zahnverbreiterungsbereiche (32) aus einem isotropem, ferromagnetischen Material mit hohem elektrischen Widerstand bestehen.
6. Elektrische Maschine nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der magnetflußführende Bestandteil des Induktionsteils (12) insgesamt im wesentlichen aus einem isotropen, ferromagnetischen Material mit hohem elektrischen Widerstand besteht.
7. Elektrische Maschine nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß das isotrope ferromagnetische Material ein kunststoffgebundenes Metallpulvermaterial ist.
8. Elektrische Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Erregerteil (14) mit Dauermagneten (16) aufgebaut ist, vorzugsweise Dauermagneten (16) auf der Basis Seltenerden-Kobalt oder auf der Basis Seltenerden-Eisen.
9. Elektrische Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß sie ein elektronisch kommutierter Elektromotor (2) ist.
10. Elektrische Maschine nach einem der Ansprüche

1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Leiterwicklungen (10) des Induktionsteils (12) aus Einzelspulen pro Induktionsteil-Zahn (22) gebildet sind, die einzeln mit dem Leistungsteil der elektronischen Kommutierung verbunden sind, oder die gruppenweise miteinander verschaltet und pro Gruppe mit dem Leistungsteil der elektronischen Kommutierung verbunden sind, oder die alle miteinander verschaltet oder gemeinsam mit dem Leistungsteil der elektronischen Kommutierung verbunden sind.

11. Elektrische Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß sie nach dem Flußkonzentrationsprinzip aufgebaut ist.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

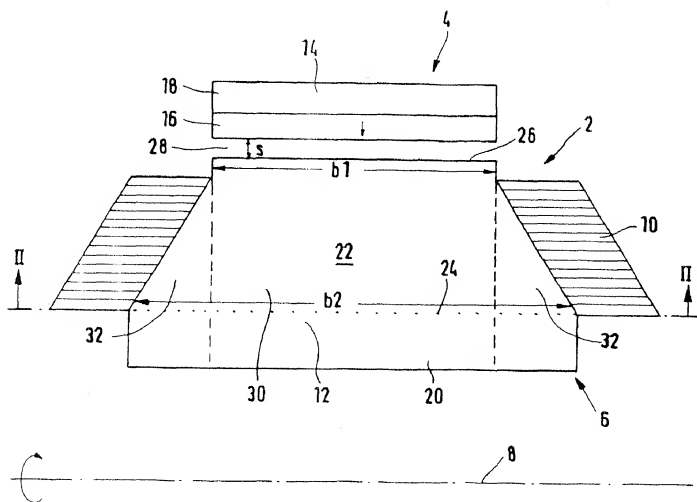


FIG. 1

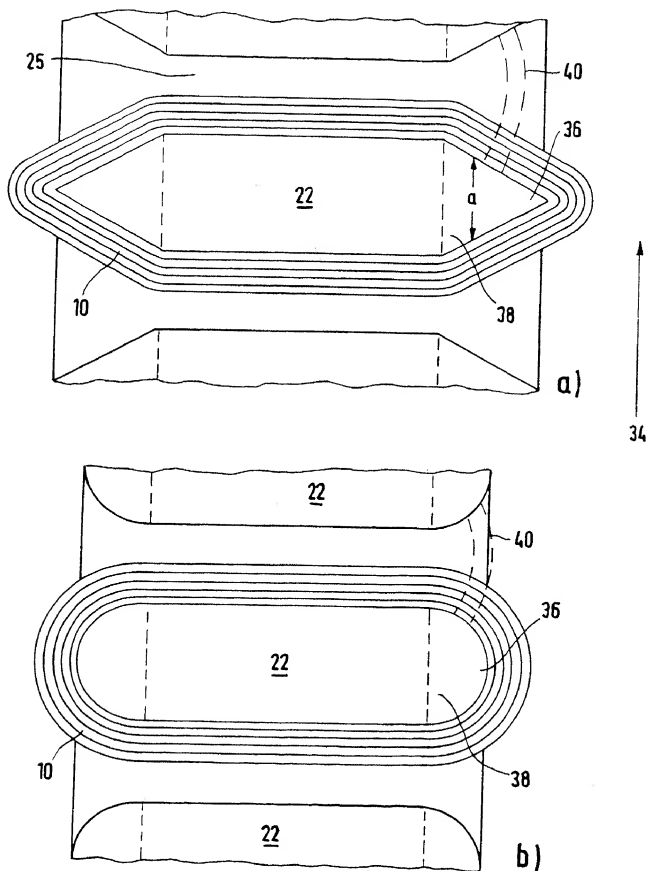


FIG. 2